

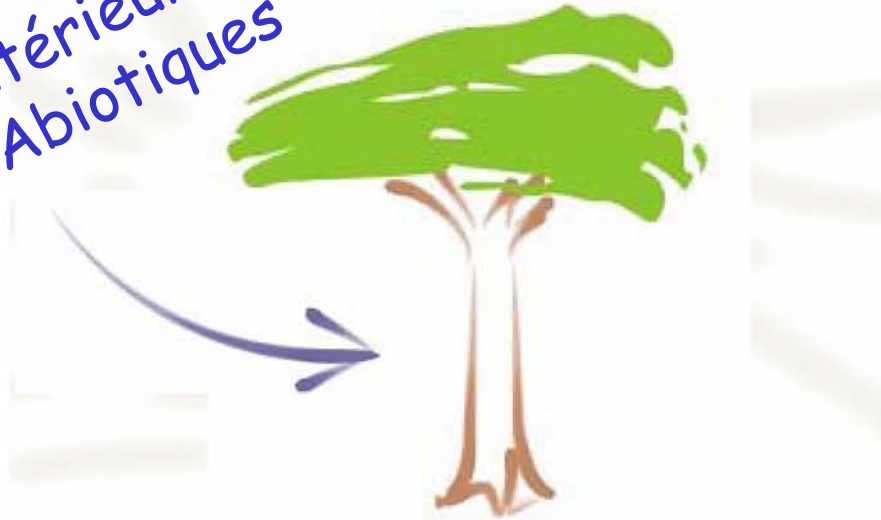
Les Agents de dégradation du matériau bois Jacques Beauchene 2006



Euplassa pinnata (Lam.) Johnston

Durabilité du bois dans l'arbre

Agressions extérieures
Biotiques ou Abiotiques



Protection du bois vivant = Aubier

Physique >>>> écorce

Biochimique >>>> molécules toxiques
>>>> duraminisation

Biologique >>>> cicatrisation

Durabilité du bois dans l'arbre

Bois mort = Duramen

Exemples de Stratégies extrêmes

1 Duramen

*non durable et à forte porosité
ou / et à hydrophilie marquée
croissance rapide,
durée de vie courte*

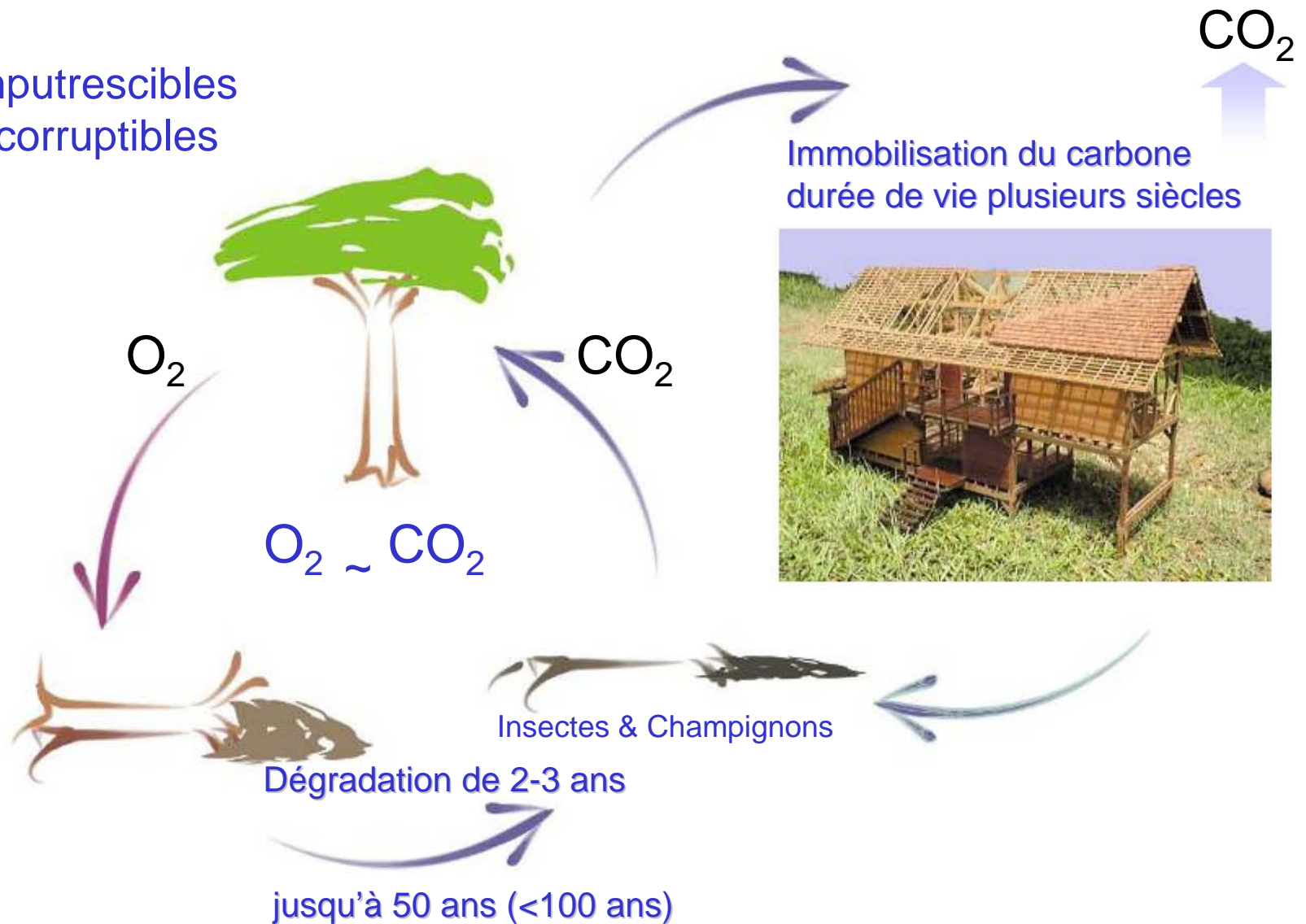


2 Duramen

*durable et souvent thyllisé ou
à hydrophilie faible
croissance généralement + lente,
durée de vie longue*

Durabilité des bois en conditions naturelles

Bois imputrescibles
Bois incorruptibles



Le bois, un matériau biodégradable

Dégradation et durée de vie des bois

Les bois sont peu sensibles aux agents de dégradation physicochimiques: corrosion, action des acides, chaleur, UV

Par nature, ils sont donc tous biodégradables

Ce sont tous aussi des combustibles qui périssent par le feu

Principaux organismes vivants susceptibles d'attaquer le bois

Micro-organismes

- * Bactéries

Champignons

- du bleuissement (*Aureobasidium*, *Ceratocystis*, ...)
- d'échauffures (*Stereum*,...)
- de pourritures : cubiques, fibreuses et molles

Insectes

- Les termites
- Les coléoptères
- Les hyménoptères

Mollusques & crustacés marins

- * Pholades et Tarets...

Les Bactéries

- Les bactéries anaérobies se trouvent souvent dans les bois saturés en eau
- La dégradation est très lente comparée à celle des champignons
- Les bactéries creusent de véritables tunnels dans la paroi S2

Les champignons

- Reproduction par des spores extrêmement nombreux et résistants (un carpophore libère des milliards de spores)
 - Mycélium constitué de filaments de diamètre $1\mu\text{m}$ environ capables de passer par les ponctuations des cellules
 - Actions d'enzymes spécifiques capables de dégrader la cellulose ou la lignine en composés assimilables
 - Ne peuvent agir pour des humidités du bois inférieures à 20%
 - Développement optimum entre 20 et 35°C
 - Ne peuvent vivre sans oxygène gazeux
 - Préfèrent les milieux acides
- carpophores de *Coriolus versicolor*.



Les champignons xylophages

H % > 20 %



Basidiomycètes

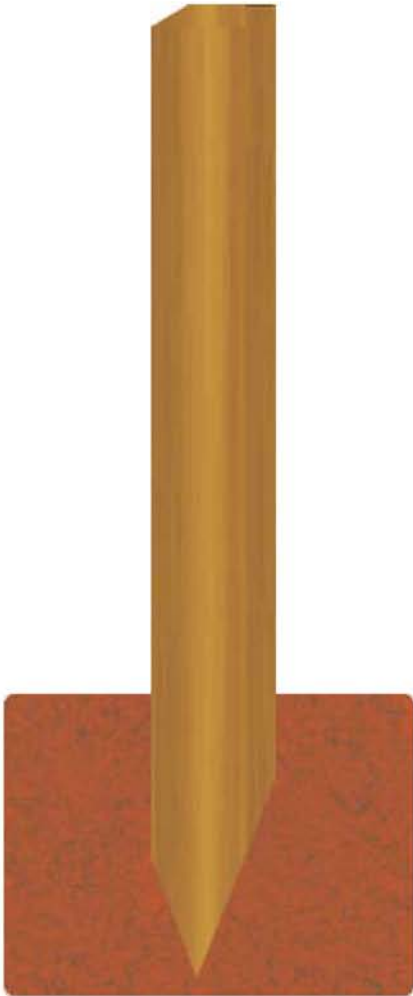
pourriture cubique et fibreuse

Ascomycètes

Bleuissement et échauffure

Pourritures molles

Saprophytes



Les Basidiomycètes

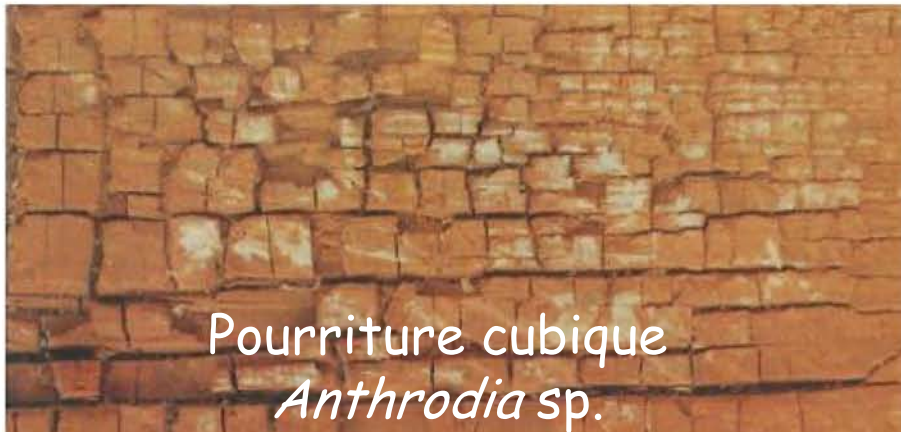


Pourriture fibreuse (blanche)

Destruction des celluloses
et hémicelluloses et des lignines
Couleur blanche et défibrage
caractéristiques
Humidité élevée et chaleur
importante, attaque aérienne
Destructeur

Pourriture cubique (brune)

Destruction des celluloses
et hémicelluloses
Couleur brune et délitage cubique
caractéristiques
Humidité et chaleur importante
Supporte bien les alternances de
conditions favorables/défavorables
Destructeur



Pourriture molle



Carpophore d'ascomycète
sur pied de poteau

Champignons aérobie le plus souvent
inféodé au sol, Supportant des
humidité élevées >50 %
Ramollissement du bois , coloration
noirâtre, (quadrillage régulier lorsque
le bois sèche)



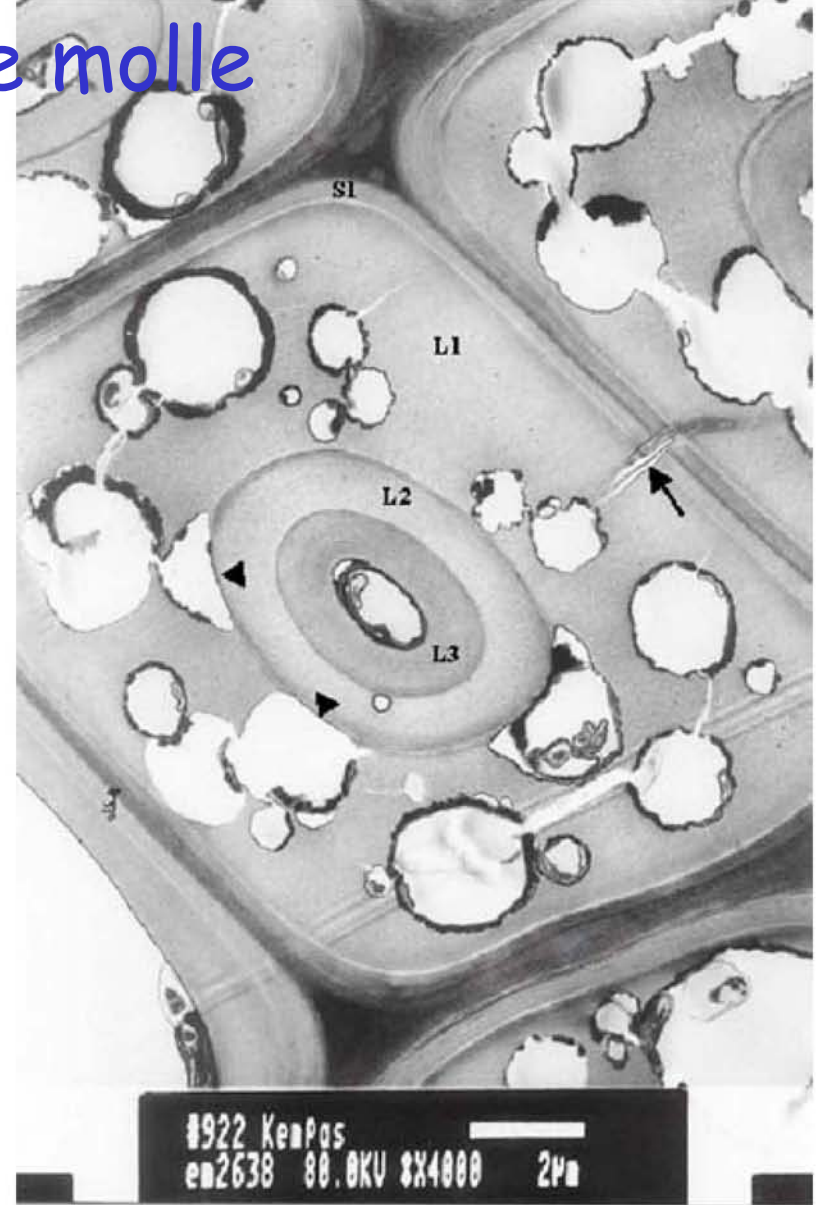
Attaque de pourriture molle sur poteau enterré
de *Brosimum utile* traité CCA 7 ans d'exposition

Champignons destructeurs pouvant
aussi se développer à l'instar de
pièges à eau dans différentes parties
de la construction

Humidité très élevée et chaleur
importante

Supporte les chaleurs élevées (50°)
et sécheresse saisonnière

Pourriture molle

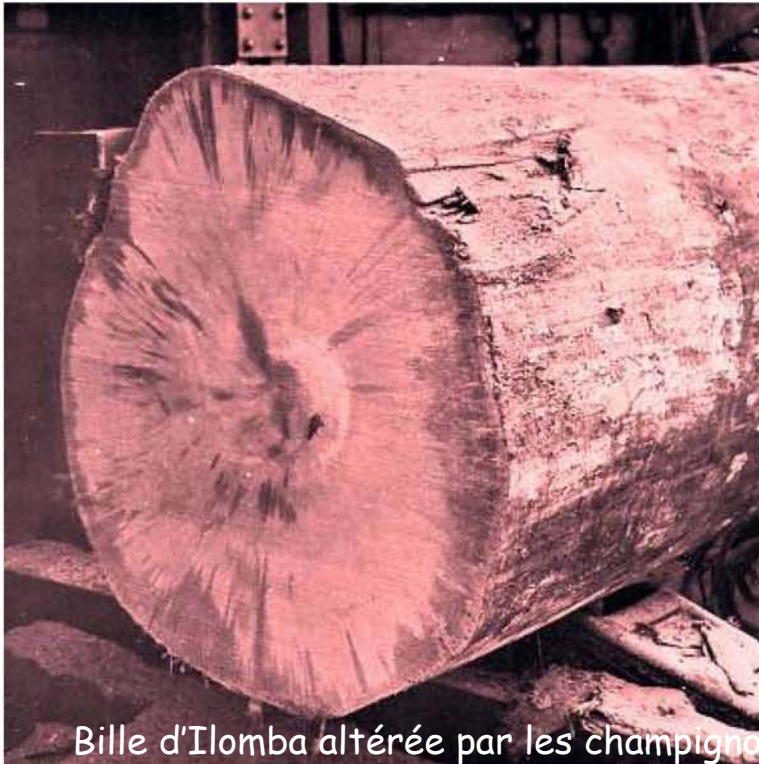


The Relationship of Fiber Cell Wall Ultrastructure to Soft Rot Decay in Kempas
(*Koompassia malaccensis*) Heartwood

Adya P. Singh^{1,2}, Andrew H.H. Wong^{1,3}, Yoon Soo Kim¹ and Seung Gon Wi¹ IRG 2005

Les Ascomycètes

Échauffures : Champignons se développant dans les aubiers ou dans les bois blancs. Peut se développer sur pied, mais le plus souvent sur parc, Peu prendre la forme de pourriture fibreuse ou molle. Nécessite une humidité très élevée, continue son action sur sciages non séchés.



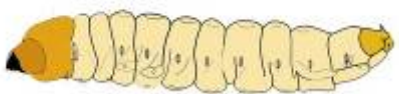
Bille d'Iloomba altérée par les champignons

Bleuissement : Champignons visible dans les aubiers ou dans les bois blancs, mais pouvant se développer sur de nombreux bois frais (Parcouri..). Pas d'altération des propriétés physiques et mécaniques. Nécessite une humidité très élevée, continue son action sur sciages non séchés.



Récapitulatif dégradation micro-organismes

Types	Noms	Constituant dégradé majoritairement	Effets majeurs sur les propriétés	Conditions de croissance (eau, O ₂ , T°)
Champignons lignivores	de pourriture brune (ou cubique)	cellulose	↓ de la résistance mécanique	risque max à H=35-40% O ₂ =20% T°=20-36°C (+ d'H, - d'O ₂)
	de pourriture blanche (ou fibreuse)	lignine		
	de pourriture molle	carbohydrates (+ lignine)		
Champignons discoloration	bleuissement	contenu cellules de parenchyme (aubier)	↓ de la valeur esthétique	H >>
Moisissures				
Bactéries		/	↑ de la perméabilité	



Larve de Longicorne

Les animaux xylophages



• Les insectes à larves xylophages

Les bois sensibles

Les aubiers de la plupart des essences
Les essences tendres et peu durables
comme : Yayamadou, Mapa...
Le parenchyme du St Martin Rouge

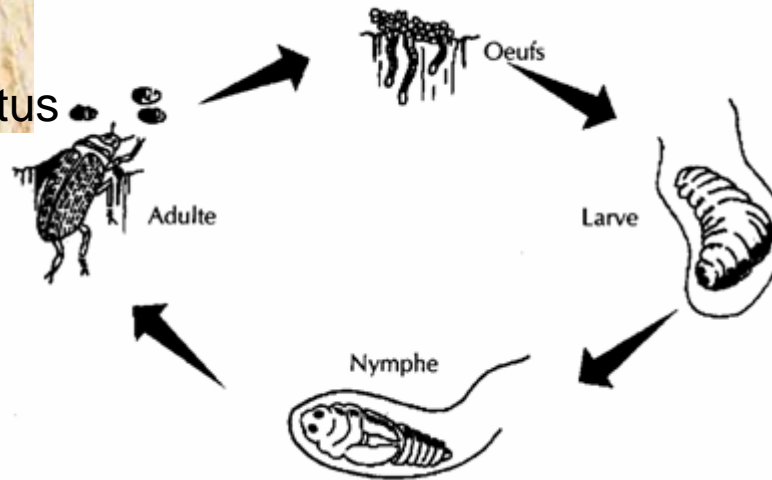
Coléoptères

Scolyte
Platype
Bostryche
Lyctus
Anobium
Longicornes



Lyctus

Larves xylophages
parfois les adultes



Vrillette



Les Insectes à larves Xylophages

- La femelle pond dans le bois
- La larve vit dans le bois et s'y nourrit en creusant des galeries
- Le trou d'envol visible de l'adulte n'apparaît qu'en fin de cycle larvaire
- Le cycle larvaire peut durer plusieurs années
- Le bruit de broyage du bois par les mandibules peut se détecter au stéthoscope

LYCTUS

Lyctus brunneus (Steph.) et Lyctus linearis (Goeze)
Coléoptères Lyctidae

Morphologie

- Adulte :
 - *L. brunneus*
Longueur : de 2,5 à 6 mm
Couleur : brun roux
Antennes de même longueur que le pronotum
Prothorax sensiblement plus large en avant qu'en arrière, nettement déprimé au centre
Élytres recouverts de poils irrégulièrement répartis
 - *L. linearis*
Longueur : de 2,5 à 6 mm
Couleur : brune
Antennes plus longues que le pronotum
Prothorax à bords parallèles, nettement déprimé au centre
Élytres recouverts de poils répartis sur des lignes longitudinales
- Larve :
 - Longueur : de 5 à 7 mm
 - Couleur : blanchâtre, glabre
 - Forme : arquée



Lyctus
Insecte parfait

Lyctus
Aspect des dégâts



Les Insectes à larves Xylophages

Exemple *Lyctus*
piqueur blanche

LYCTUS

Lyctus brunneus (Steph.) et Lyctus linearis (Goeze)
Coléoptères Lyctidae

Répartition

- L. brunneus* :
 - Monde entier
- L. linearis* :
 - Europe : très commun, mais en voie de régression par rapport à *L. brunneus*

Cycle évolutif

- Adulte :
 - Apparition d'avril à septembre
 - Durée de vie : de 2 à 3 semaines pour le mâle, 6 semaines pour la femelle
- Ponte :
 - Dans les vaisseaux de l'aubier (diamètre > 0,05 mm)
- Éclosion des larves :
 - 1 à 2 semaines plus tard
- Développement larvaire :
 - Dans le bois
- Durée de la nymphose :
 - 3 à 4 semaines
- Durée du cycle évolutif :
 - De 8 à 12 mois

Bois attaqués

- Bois mis en œuvre, meubles
- Uniquement des essences feuillues indigènes ou tropicales, qui doivent :
 - posséder des parties aubieuses dont les vaisseaux sont suffisamment gros (diamètre $\geq 0,05$ mm) pour que la femelle puisse y introduire sa tarière au moment de la ponte
 - présenter une teneur en amidon suffisamment riche
- Tout le bois est attaqué s'il n'est pas duraminisé

Aspect des dégâts

- Trous de sortie circulaires, de 1 à 2 mm de diamètre
- Galeries de section circulaire, parallèles au fil du bois
- Vermoulure fine, aspect « fleur de farine »

Les Insectes à larves Xylophages

Morphologie

- Adulte :
Longueur : de 2,5 à 5 mm
Couleur : brun plus ou moins foncé
Antennes avec une massue de trois articles allongés
Corselet (sorte de capuchon qui recouvre la tête) plus étroit que les élytres
Élytres : régulièrement striés

- Larve :
Longueur : de 5 à 7 mm
Couleur : blanche
Forme : arquée

Exemple *Anobium*
piqueur blanche



1	2
	3

Petite vrillette

1. Larve

2. Insecte parfait

3. Bois attaqué

Répartition : zones à climat tempéré

- Europe, Amérique (est des U.S.A.), Afrique du Sud, Australie, Nouvelle-Zélande

Cycle évolutif

- Adulte :
Apparition de mai à septembre
Durée de vie : environ 3 à 4 semaines
- Ponte :
de 20 à 30 œufs, dans les fentes ou les rugosités de la surface du bois ou sur les parois des anciennes galeries
- Éclosion des larves :
4 à 5 semaines plus tard
- Développement larvaire :
Dans le bois
- Durée de la nymphose :
2 à 3 semaines
- Durée du cycle évolutif :
De 1 à 4 ans selon les conditions climatiques, raccourcie par une attaque de champignons lignivores

Bois attaqués

- Bois mis en œuvre
- Meubles, objets d'art, vieux livres et papiers
- Essences : résineuses et feuillues, uniquement la partie aubieuse si le bois est duraminisé, en totalité en cas d'attaque de champignons lignivores
Tropicales : semblent résistantes

Aspect des dégâts

- Trous de sortie circulaires de 1 à 3 mm de diamètre
- Galeries circulaires, de même diamètre que le trou, orientées dans le sens du fil du bois
- Vermoulure finement granuleuse. Si les trous de sortie sont facilement confondus avec ceux du Lyctus, on distingue l'attaque des insectes par la vermoulure, non granuleuse chez le Lyctus

Les Insectes à larves Xylophages

Attaque du bois frais ou sur pied

Les **Scolytes**, **Platypes** et **Bostryches** creusent des galeries dans le bois sur pied ou fraîchement abattu pour y pondre leurs œufs.

Leur action est définitivement arrêtée dès que l'humidité du bois descend sous 30-35%.

Un champignon se développe dans les galeries du **Platype** les tapissant d'un mycélium noir d'où le nom de **Pique noire**.

Les scolytes ont un corps cylindrique allongé avec des élytres, brun rouge et leur taille de 2 à 5 mm. Leur nom vient du grec *skôlêx*, « ver ».



Galleries de scolytes



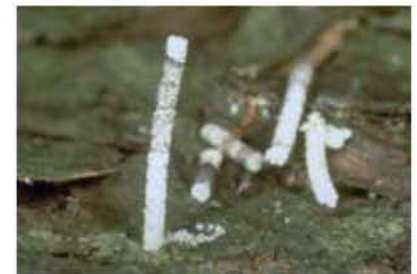
Scolyte sténographe



Platypus cylindrus
5 mm



Sciure sur écorce



Insectes sociaux xylophages

Insectes sociaux

Vie sociale très développée

Seul la colonie compte

Très hiérarchisés

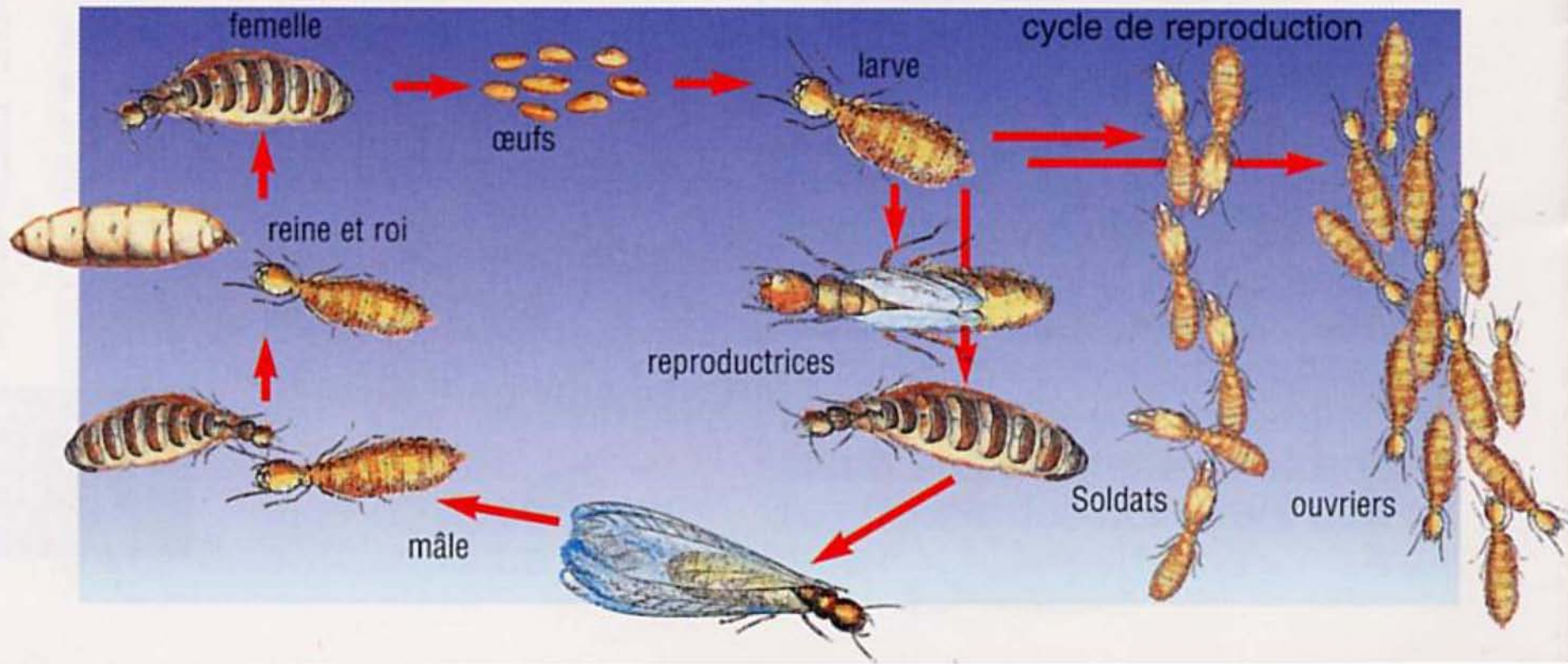
Plusieurs castes à rôles différents

Milliers d'individus / colonie

Unicellulaires symbiotes dans le tube digestif

↳ Redoutable efficacité dans la dégradation du bois

LES TERMITES



2300 espèces dans le monde
1200 espèces se nourrissant d'humus
Une centaine d'espèces s'attaquant au bois œuvre

Les termites « souterrains »

Nasutitermitinae

Nasutitermes



Soldat *Nasutitermes*



Dégâts de *Coptotermes*

Coptotermes



Soldat *Coptotermes niger*

Heterotermes



Soldat *Heterotermes*

Rhinotermitidae



Galleries de *Nasutitermes*

Les termites de bois sec



Pied de chaise attaqué
par *Cryptotermes brevis*

Pas de galerie, pas de trace visible
à l'extérieur des pièces attaquées

Kalotermitidae

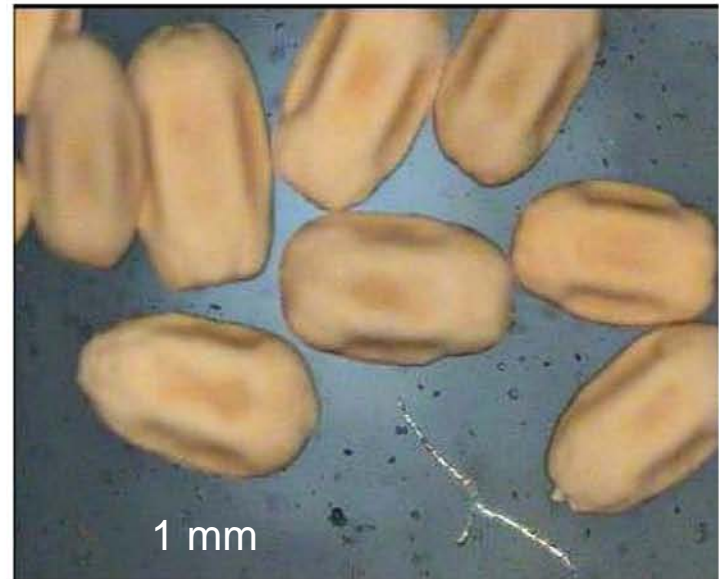
Cryptotermes,
(*Neotermes*,
Glyptotermes,
Kalotermes)

Déjection de *Cryptotermes*



10 mm

Larve adulte de *Cryptotermes*



1 mm

Les Insectes xylophiles

De la famille des hyménoptères

Bourdon violet (Vonvon), fourmis et abeilles charpentières

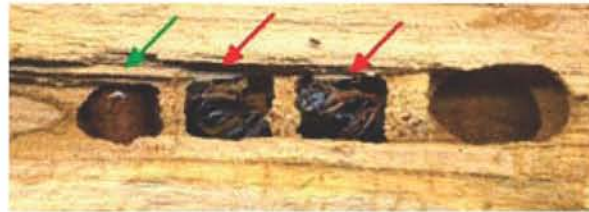
- Ils se logent dans le bois en creusant des galeries
- ils ne sont pas xylophages

Camponotus sp.



Boulette de nectar

Nymphes



Galeries



Xylocopus violaceus



Galeries

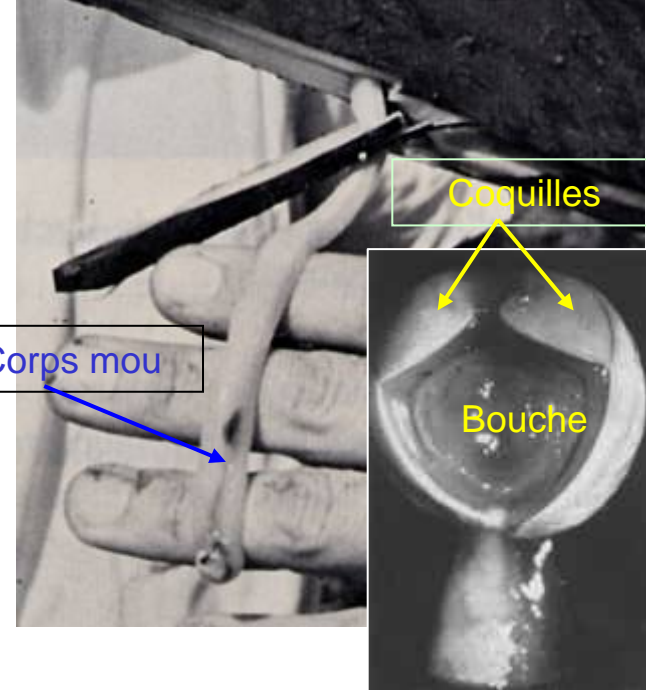
Les animaux marins xylophages

1 Les Tarets



Bois immergés
en eau salée ou saumâtre

Mollusque bivalve au
corps mou, s'attaquant
aux navires en bois et
Constructions portuaires



Sa coquille réduite lui sert d'outil pour
creuser le bois
Le forage est garni d'un enduit calcaire
Teredo navalis peut atteindre 60 cm de long

Qq. Essences résistantes à très résistantes
Angélique, Grignon, Bagasse, Balata franc,
Itauba, Angelim vermelho, Greenheart
Certaines bois siliceux gaulettes, Mahos

Les animaux marins xylophages

Les *Pholades* sont des mollusques bivalves xylophiles foreurs qui se logent dans le bois ou dans les roches tendres mais certaines espèces non foreuses sont xylophages comme *Xylophaga washingtona*

Xylophaga washingtona 6 mm



Certains crustacées

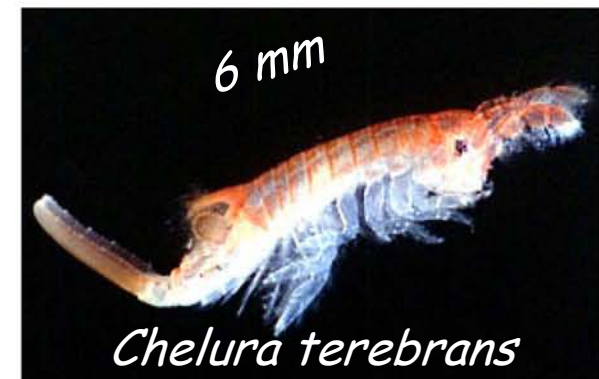
Isopodes *Limnoria lignorum*

Attaque les bois flottés et les constructions portuaires en bois . Ressemble a un cloporte avec 7 paires de pattes et 4 paires de pièces buccales
Attaques plutôt concentrées en limite de marée basse VE.

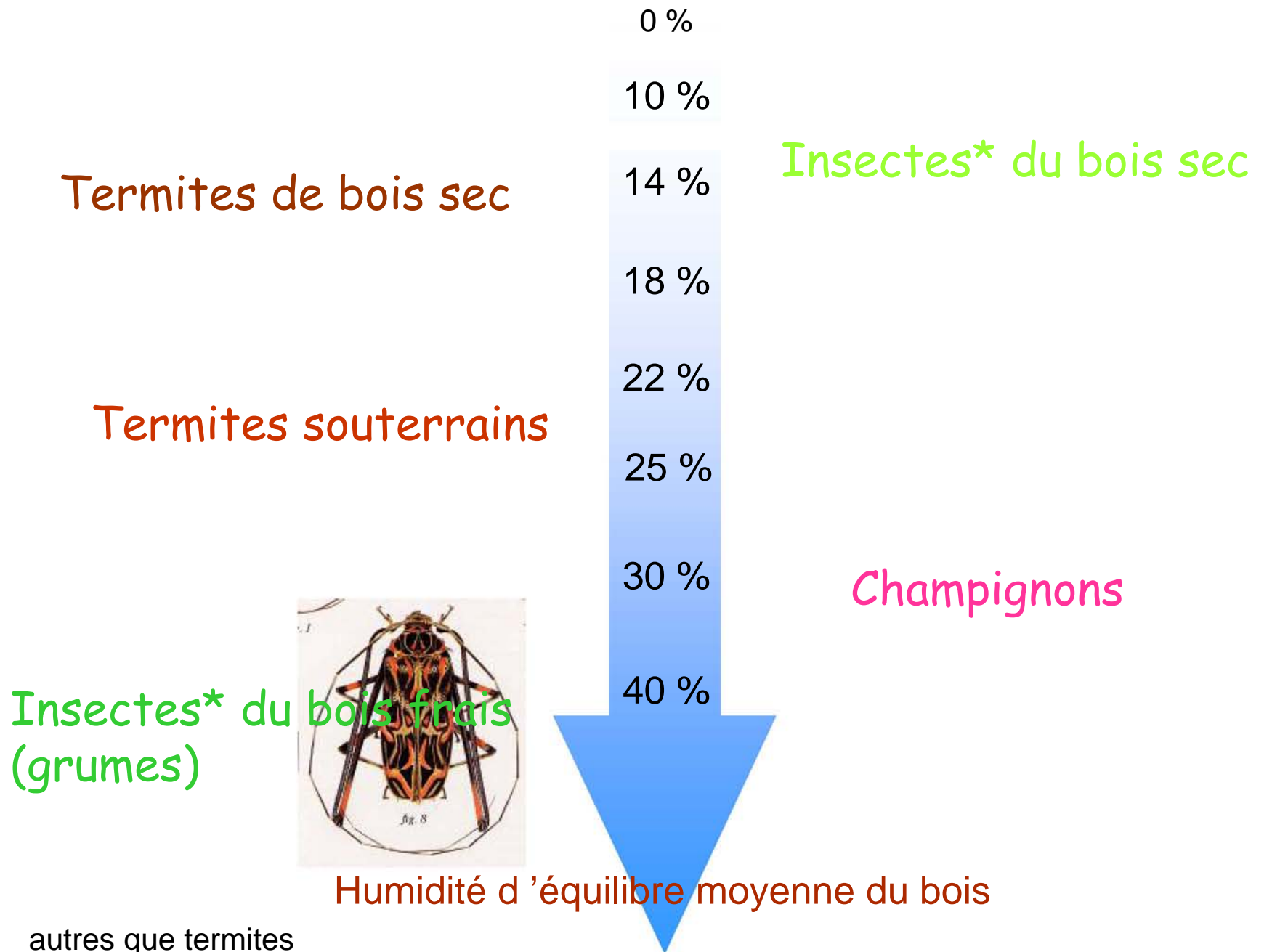


Amphipodes xylophages *Chelurea terebrans*

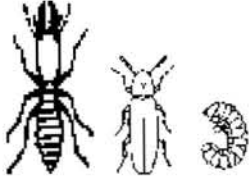

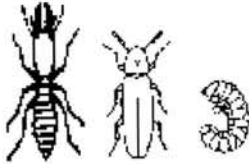





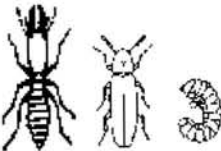

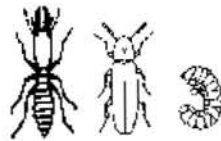


Attaque surtout les vieux bois assez tendres
Mais peut détériorer petit à petit, avec ses petites mandibules et des symbiotes, les constructions en bois des ports et le carène en bois des bateaux.



IMPORTANCE DE LA SITUATION D'EMPLOI



Les Classes de Risques Biologiques (EN 351)

Classe de risque	Situation générale en service	humidité	Agents de dégradation	Types d'ouvrages
1	Hors contact du sol, toujours à l'abri	<18% sec		
2	Hors contact du sol, toujours à l'abri, risque d'humidification possible	<18% Humidification possible par condensation occasionnelle		
3 A	Hors contact du sol, non abrité, pas de stagnation d'eau	>20% Séchage complet avant ré-humidification		
3 B	Hors contact du sol, non abrité, stagnation d'eau plus fréquente	>20 % pénétration d'eau modérée en bois de bout et dans les assemblages		
4	En contact avec le sol ou l'eau douce	>20% en permanence		
5	En contact avec l'eau de mer	>20% en permanence	 	

Les futures Classes d'emploi

Classe d'emploi	Situation générale en service	Description de l'exposition à l'humidification en service	Agents biologiques	
1	A l'intérieur, à l'abri	sec	Coléoptères foreurs du bois	En cas de présence possible de termites, cette classe est désignée 1T
2	A l'intérieur ou sous abri	Occasionnellement humide	Coléoptères foreurs du bois + champignons de discoloration + champignons de pourriture	En cas de présence possible de termites, cette classe est désignée 2T
3	3.1. A l'extérieur, au dessus du sol, protégé 3.2. A l'extérieur, au dessus du sol, non protégé	Occasionnellement humide Fréquemment humide	Coléoptères foreurs du bois + champignons de discoloration + champignons de pourriture	En cas de présence possible de termites, cette classe est désignée 3.1T ou 3.2 T
4	4.1 A l'extérieur en contact avec le sol et/ou l'eau douce 4.2 A l'extérieur en contact avec le sol (sévère) et/ou l'eau douce	A prédominance ou en permanence humide En permanence humide	Coléoptères foreurs du bois + champignons de discoloration + champignons de pourriture + champignons de pourriture molle	En cas de présence possible de termites, cette classe est désignée 4.1T ou 4.2 T
5	Dans l'eau salée	Humide en permanence	champignons de pourriture + champignons de pourriture molle + térébrants marins	A : térénidés et limnoria B : comme A + limnoria tolérant à la créosote C : comme en B + pholades

Comment caractériser la durabilité naturelle ?

Premiers essais en 1830 (Hartig) : résistance de bois mis au contact du sol

Objectifs des recherches :

- quelle terminologie utiliser ?
- quelle méthode mettre au point ? (par comparaison avec les essais de champ)
- quelle correspondance établir entre durabilité et durée de vie ?

En 1992 : élaboration d'une norme européenne
(EN 350-1): 5 classes de durabilité naturelle

- très durable
- durable
- moyennement durable
- faiblement durable
- non durable

EN 113



Essais de durabilité

Tests de résistance aux termites

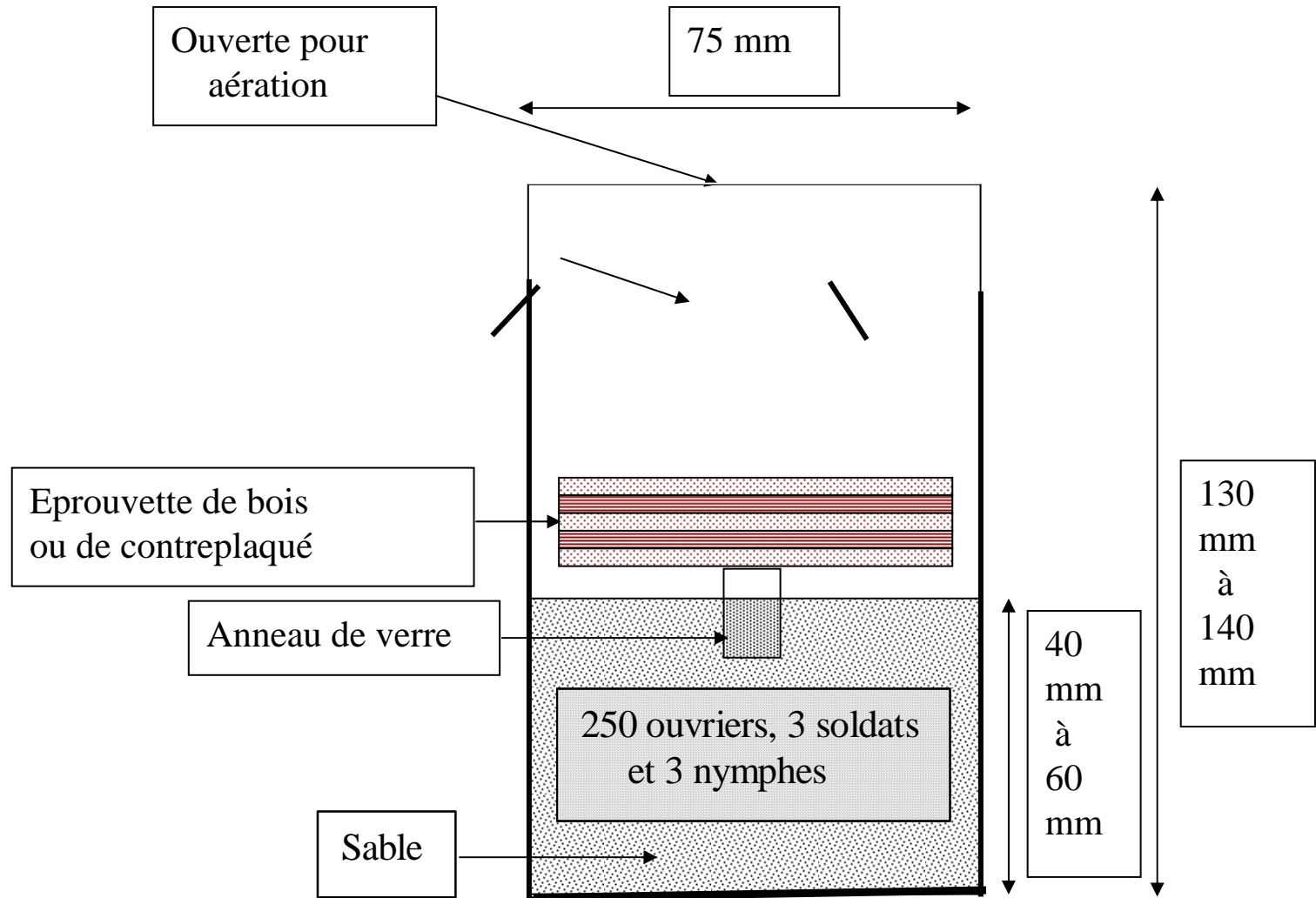
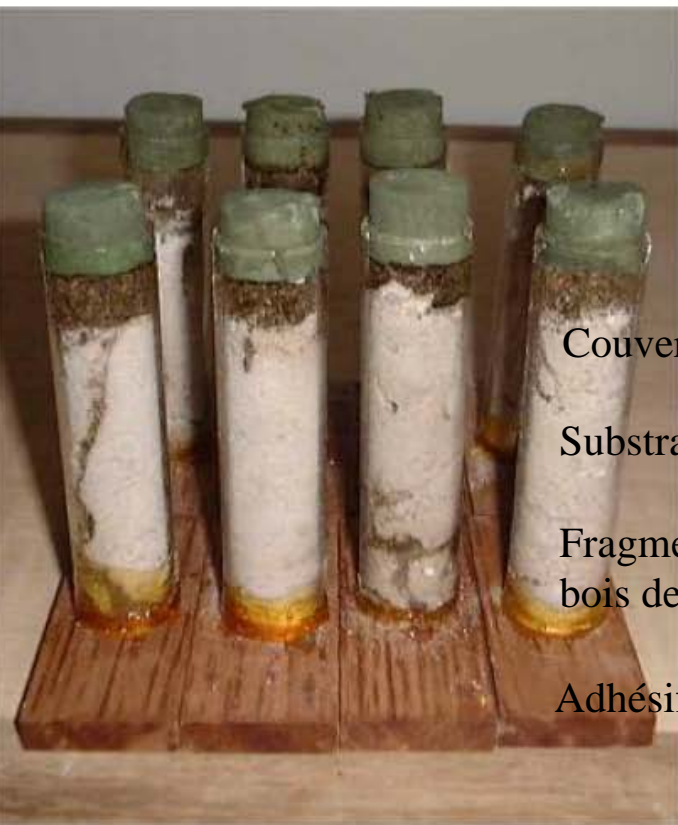


Schéma du dispositif termite conformément à la norme NF EN 117

Tests de résistance aux termites



25 mm

Galerie artificielle

Couvercle

Substrat(sable)

Fragment de
bois de culture

Adhésif

110 mm

70 mm

Bois testé

20-25 mm

40 mm

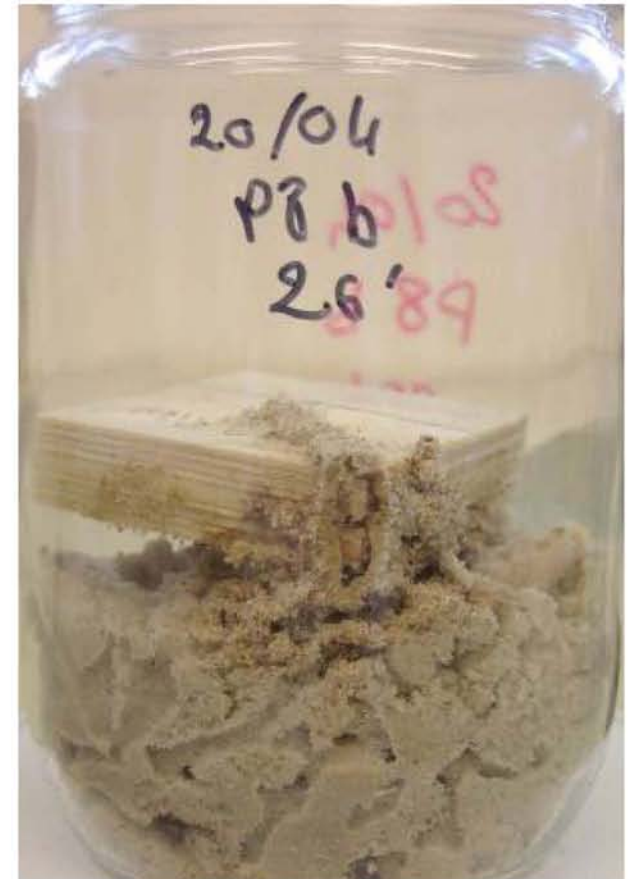
10 mm

100 mm

Schéma du dispositif termite conformément à NF EN 118

Tests de résistance aux termites

Les essais EN 117 et EN 118 s'appliquent bien aux termites d'élevage ce sont plutôt des essais de toxicité



Tests de résistance aux termites



Essais champs d'appétence

Tests de résistance aux termites



Essais champs d'appétence
après 1 an d'exposition

Essai de pourriture de type « sol » pourriture molle de type ENV 807



Echantillons avant essai

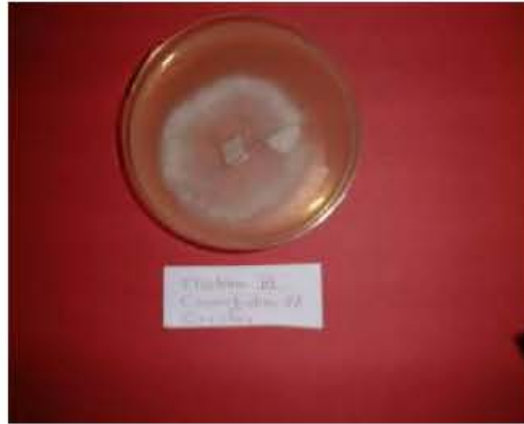


Echantillons sains et
dégradés



Essai de pourriture

Essais de toxicité d'extrait sur milieu de culture Screening Tests



Essais Monospécifique
une seule souche de champignon
xylophage par essai
Pictnoporus sp. Basidiomycète



Méthode de mesure de la durabilité (EN 350-1)

Par le calcul de la perte de masse x d'une éprouvette après exposition aux champignons : rapide et fiable (bien corrélée avec les essais de champ)

$$x = (M_i - M_f) / M_i$$

avec

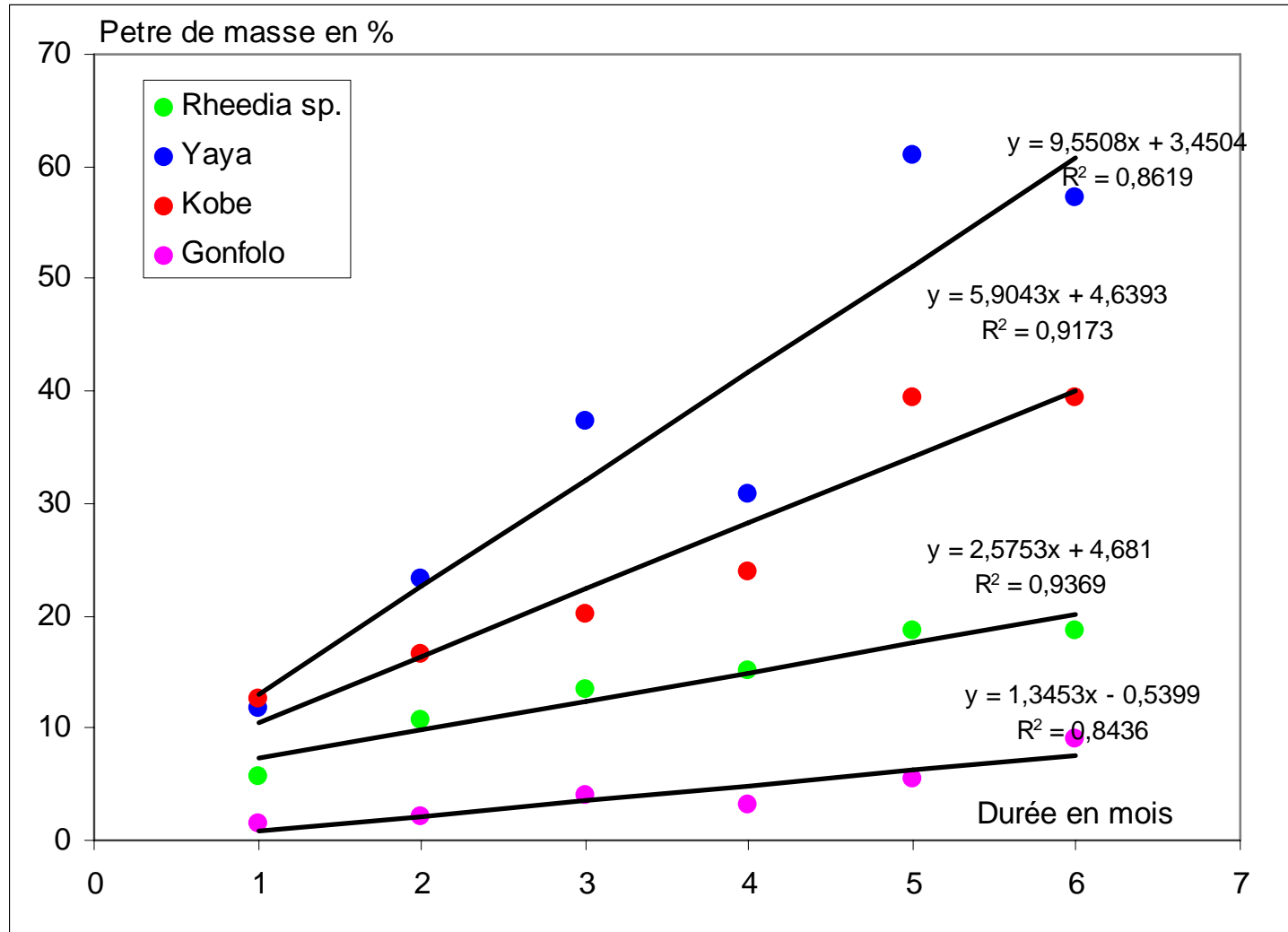
$M_i = M_{12} \times K$ = masse probable anhydre avant essai
($K = M_0 / M_{12}$ = coef. correcteur)

M_f = masse finale anhydre après essai

Essences	Champignons d'essais	Perte de masse minimum	Eprouvettes de référence
Feuillus	<i>Gloephyllum trabeum</i>	20 %	aubier de Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>)
	<i>Serpula lacrymans</i>	20 %	
	<i>Coriolus versicolor</i>	25 %	
Résineux	<i>Gloephyllum trabeum</i> <i>Serpula lacrymans</i> <i>Poria placenta</i>	20 %	aubier de Pin sylvestre (<i>Pinus sylvestris</i>)

Essais champignons du sol cf. ENV807

Evolution de la perte de masse en fonction du temps de 4 espèces guyanaises



Classes de durabilité naturelle aux champignons en fonction de la perte de masse mesurée en laboratoire

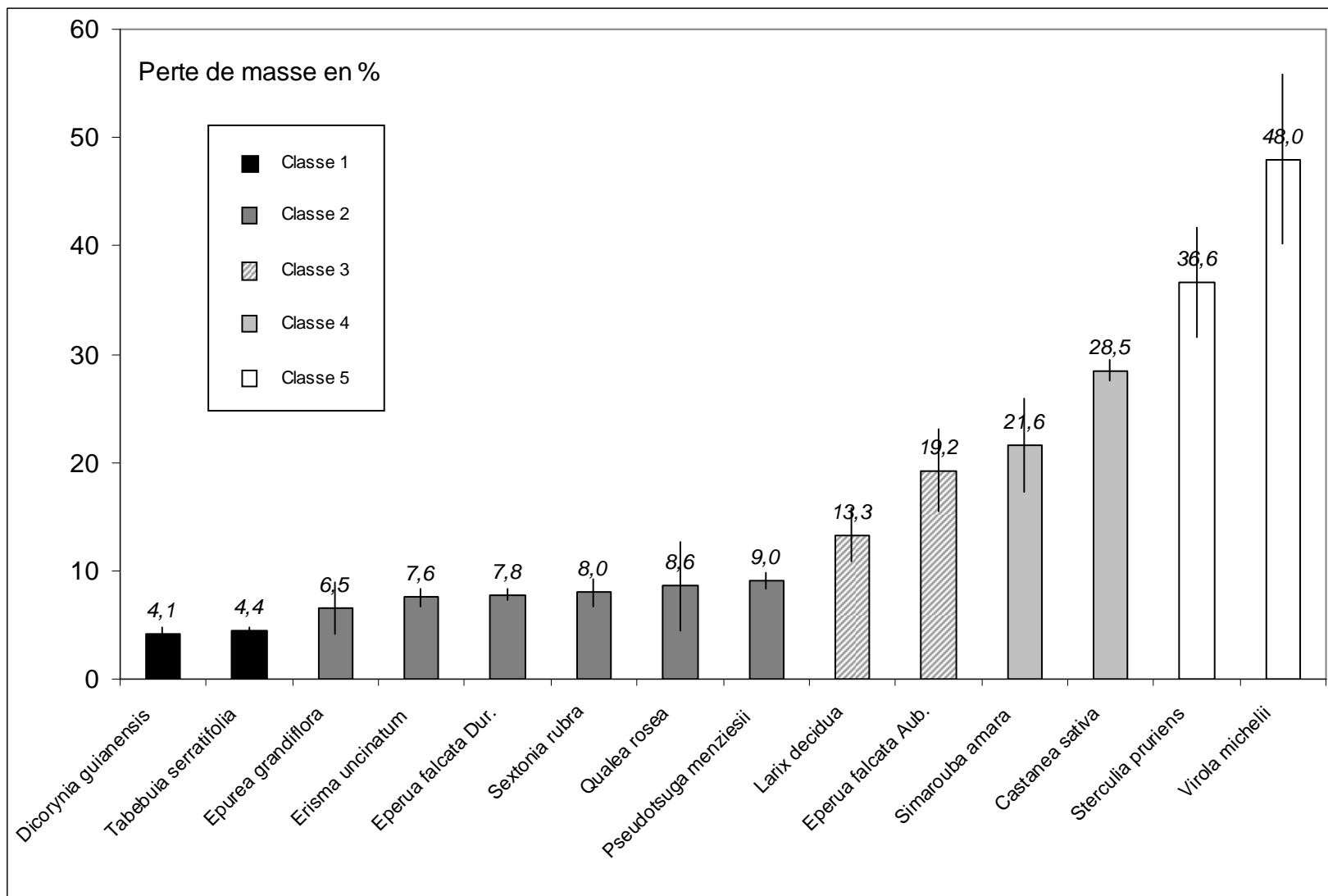
Classes de durabilité	Description	Perte de masse x (en %)	Perte de masse relative X (*)
1	Très durable	$x \leq 5$	$x \leq 0,15$
2	Durable	$5 < x \leq 10$	$0,15 < x \leq 0,30$
3	Moyennement durable	$10 < x \leq 20$	$0,30 < x \leq 0,60$
4	Faiblement durable	$20 < x \leq 30$	$0,60 < x \leq 0,90$
5	Non durable	$x > 25$	$x > 0,90$

* : modification de la norme (depuis Juillet 1994)

NB : Cette classification doit s'appuyer sur les résultats obtenus avec le champignon lignivore le plus virulent pour l'espèce.

Essais champignons du sol cf. ENV807

Comparaison de la perte de masse brute, après 6 mois d'essais, de 14 espèces communes. Les barres verticales représentent +/- l'écart-type



Essais champignons du sol cf. ENV807

Notation de la durabilité du bois après l'essai sol

Estimée à partir de la perte de masse brute après 6 mois d'essais

Classe de durabilité Après 6 mois	Description	Perte de masse brute après 6 mois
1	Très durable	de 0 à 5 %
2	Durable	de 5 à 10 %
3	Moyennement durable	de 10 % à 20 %
4	Peu durable	de 20 à 30 %
5	Non durable	Supérieure à 30 %

Durabilité naturelle et durées de vie du matériau

Durées de vie données pour des utilisations du bois en extérieur

Il s'agit d'ordres de grandeur (influence de la biodiversité)

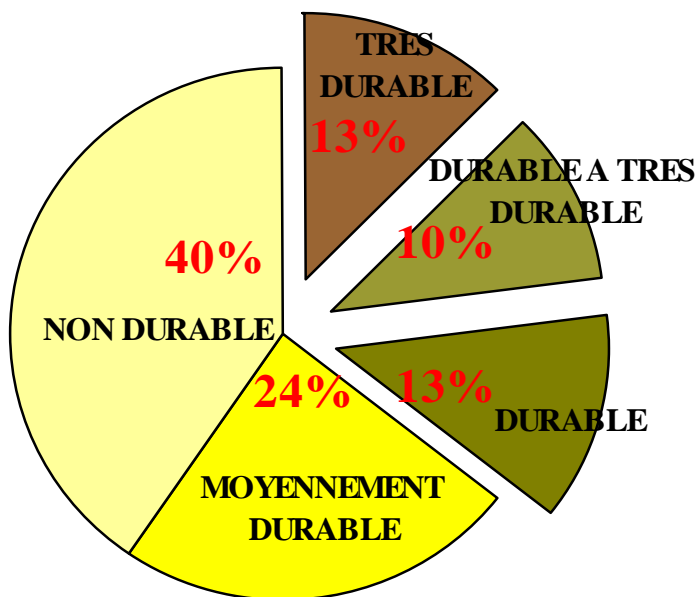
Classes de durabilité	Durées de vie du matériau utilisé en milieu naturel (années)	
	tempéré	tropical
Non durable	<5	<2
Faiblement durable	5 à 10	2 à 5
Moyennement durable	10 à 15	non attribuée
Durable	15 à 25	5 à 10
Très durable	+ de 25	+ de 10

Classement de quelques espèces selon leur durabilité naturelle vis-à-vis des champignons lignivores

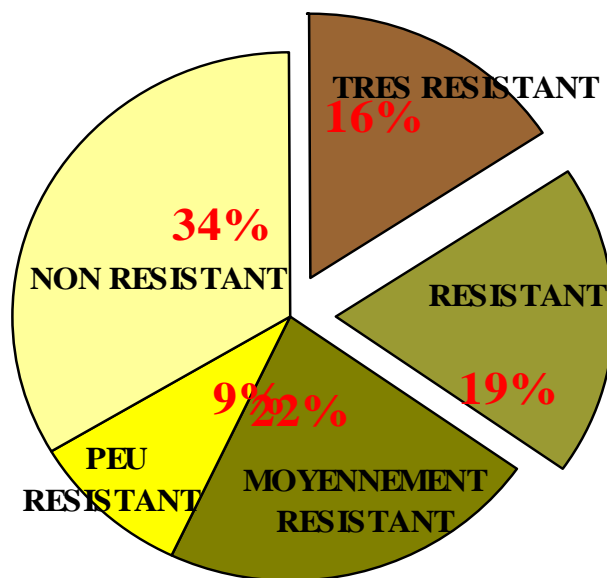
Espèces	Très durables	Durables	Moyennement durables	Peu ou pas durables
Tropicales (Guyane)	Balata franc Wapa Bagasse Ebène verte St Martin rouge Wacapou Boco	Angélique Gonfolo Grignon franc Amarante Parcouri Coeur dehors Courbaril	Kimboto	Koualis Goupi Simarouba Yayamadou
Tempérées	Cyprès	Châtaignier Robinier Mélèze Chênes	Olivier Noyer Pin maritime	Toutes les autres

Résistance naturelle d'une centaine d'espèces de Guyane

**RESITANCE NATURELLE AUX
CHAPIGNONS LIGNIVORES**



**RESITANCE NATURELLE AUX
TERMITES LIGNIVORES**



Le pool de dégradation



Dans les zones très exposées (extérieures, forestières...)